

# **Programme in Menschengestalt: digitale Menschmodelle für CAX- und PLM-Systeme**

Jens Mühlstedt<sup>1</sup>

(e-Mail: [jens.muehlstedt@mb.tu-chemnitz.de](mailto:jens.muehlstedt@mb.tu-chemnitz.de), Tel./Fax: 0371 531-36464/-836464)

Hans Kaußler<sup>2</sup>

(e-mail: [hans.Kaussler@siemens.com](mailto:hans.Kaussler@siemens.com), Tel. 089 636-49647)

Birgit Spanner-Ulmer<sup>1</sup>

(e-Mail: [birgit.spanner-ulmer@mb.tu-chemnitz.de](mailto:birgit.spanner-ulmer@mb.tu-chemnitz.de), Tel. 0371 531-23210/-823210)

<sup>1</sup>*Professur Arbeitswissenschaft,  
Institut für Betriebswissenschaften und Fabrikssysteme,  
Technische Universität Chemnitz  
Erfenschlager Str. 73, 09125 Chemnitz*

<sup>2</sup>*Siemens AG,  
Corporate Technology  
Otto-Hahn-Ring 6, München*

## **Deutsch**

Titel	Programme in Menschengestalt: digitale Menschmodelle für CAX- und PLM-Systeme
Schlüsselwörter	digitale Menschmodelle, rechnergestützte Konstruktion (CAD, CAX), Produktlebenszyklusmanagement (PLM), Produktgestaltung, Prozessgestaltung
Zusammenfassung	Digitale Menschmodelle sind wichtige Werkzeuge der Produkt- und Prozessentwicklung. In diesem Beitrag wird der Stand der Technik der Modelle, die in CAX- oder PLM-Systemen eingesetzt werden, dargelegt. Wichtige Eigenschaften der einzelnen Modelle sowie eine zusammenfassende Einschätzung der Vor- und Nachteile werden vorgestellt.
Praktische Relevanz	In der Forschung und Entwicklung von Unternehmen und an Hochschulen sind digitale Menschmodelle als „Werkzeuge“ im Einsatz und sollen zukünftig verstärkt eingesetzt werden mit dem Ziel, die Wirtschaftlichkeit durch eine ergonomische Produkt- und Produktionsgestaltung zu verbessern. Dieser Beitrag stellt einen Vergleich der wichtigsten Modelle an und liefert somit Hinweise für den Einsatz in der Praxis.

## English

title	The Software Incarnate: Digital Human Models for CAX- and PLM-Systems
key words	Digital Human Models, Computer Aided Design (CAD, CAX), Product Lifecycle Management (PLM), Product Design, Process Design
summary	<p><b>INTRODUCTION</b></p> <p>Digital human models are important tools for product and process design. This paper describes state of the art models used within CAX- or PLM-Systems.</p> <p>Digital human models are three-dimensional, exemplary, virtual reproductions of real humans. Since the 1960es many different models have been developed, for example BoeMan (Ryan, Springer 1969), Safework (Safework Inc. 2000) or Tempus (Kroemer et. al. 1988; Badler et. al. 1985). Initially these models were two-dimensional digital copies of anthropometric templates. Issues of industrial companies or universities pushed the development and over the years they reached a number of functionalities and applications.</p> <p><b>STATE OF THE ART</b></p> <p>The product lifecycle management software Tecnomatix (Siemens/UGS) is using a model called eM-Human. In the past years this meant the AnySim-model, which has been replaced by the Jack-Model in version 8.1. For major use in the digital factory eM-Human is able to do ergonomical and time analyses, i.e. posture analysis, reachability, visibility, MTM / time analysis). The Jack-model was developed at the University of Pennsylvania together with the NASA and Transom Technologies Inc. The initially Tempus called model is now owned by Siemens/UGS. With 68 joints and 135 degrees of freedom a number of analyses can be done (i.e. force analyses, push/pull- or lift/carry-analyses). In addition to eM-Human the Ramsis-Model can be used within Tecnomatix, too.</p> <p>Human Builder is the human model for Catia, Enovia and Delmia from Dassault Systemes. It uses 148 degrees of freedom and 99 joints. The anthropometry can be custom-</p>

ized, different activity and posture analyses are available and working tasks can be simulated.

The german model RAMSIS (from Human Solutions) was developed by the University of Eichstätt, the Technische Universität München, the company techmath and some automotive manufacturers. Thus, it is used mainly for automotive, aircraft and industrial vehicle issues. The model uses 53 joints and 104 degrees of freedom. Analyses of comfort, visibility and reachability surveys and force analyses can be done. Beside anthropometrical databases the scans of 3D-body-scanner can be imported to form a model. An interface to virtual reality software is also available.

The model Santos is used in the Virtual Soldier Research Program of the University of Iowa. It uses accurate biomechanics with models of muscles, deformable skin and the simulation of vital signs. With these systems analyses of fatigue, discomfort, force or strength can be done. Furthermore modules for clothing simulation, artificial intelligence and virtual reality integration are available for the real-time system.

Some other models like the Boeing Human Modeling System (BHMS) or the System for Aiding Man-Machine Interaction Evaluation (SAMMIE), complete this listing.

Many problems are solved with nowadays digital human models. Nevertheless, there are many issues which in the future can be integrated in the existing or in new models.

practical relevance

Companies and universities use and plan to increasingly use digital human models. This paper compares the most important state of the art models. Practical hints for the use of the models are given.

## **Française**

intitulé

Le logiciel incarné: Modèles humains de Digital pour CAx et PLM-Systèmes

mot-clé

modèles humains numériques, construction assistée par ordinateur (CAO), gestion de cycle de vie de produit (PLM), configuration du produit, organisation de processus

résumé	Des modèles humains numériques sont des outils importants du développement de processus et de produits. Dans ce travail, l'état de la technique des modèles qui sont utilisés dans des systèmes CAx et PLM, est énoncé. Des qualités importantes des différents modèles ainsi qu'une estimation sommaire des avantages et inconvénients sont représentées.
importance pratique	Pour la recherche et le développement aux universités et dans les entreprises, des modèles humains numériques sont déjà utilisés comme outil. Ce travail emploie une comparaison des modèles les plus importants et livre ainsi des indications d'engagement en pratique.

Beitragstext:

## **1 Einleitung**

Digitale Menschmodelle sind seit vielen Jahren ein hilfreiches Werkzeug in der Produkt- und Prozessgestaltung. Als Teil von CAX-Umgebungen oder integriert in die digitale Fabrik beschleunigen sie Entwicklungs- und Planungsprozesse und machen manch andere Arbeitsmethode überhaupt erst möglich. In folgendem Beitrag wird die stetig voranschreitende Entwicklung der aktuell wichtigen Modelle mit ihren Eigenschaften und Methoden dargestellt.

### **METHODIK**

Um sowohl die historische Entwicklung als auch den aktuellen Stand der Technik der digitalen Menschmodelle zu erfassen, wurden verschiedene Quellen genutzt. Für die Analyse der historischen Modelle wurde zum Großteil auf Fachliteratur zurückgegriffen. Einige Modelle konnten anhand noch existierender Installationen analysiert werden. Zusätzlich wurden Personen befragt, die mit den Programmen arbeiteten. Für die Analyse der aktuellen Modelle wurden neben Fachliteratur und Beschreibungen der Hersteller auch die Programme selbst untersucht. Weiterhin wurden Experten befragt, die mit den Programmen arbeiten.

## **2 Historische Entwicklung**

Digitale Menschmodelle sind dreidimensionale, modellhafte Abbilder der Realität. Seit den 1960er Jahren wurden im Laufe der Zeit viele Modelle entwickelt, die teilweise wieder eingestellt, teilweise zusammengeführt oder in andere Modelle integriert wurden. Es entstanden so Softwarelösungen historisch bedeutender Modelle wie Anthropos ErgoMAX (Gill, Ruddle 1998), BoeMan (Ryan, Springer 1969), CombiMan (Schaub, 1988; Kroemer et. al. 1988), CrewChief (McDaniel 1990), CyberMan (Schaub 1988), Ergo (Donald 1998; Nayar 1995), ERGOMan (Schaub 1988; Seidl 1994), Franky (Schaub 1988; Seidl 1994), Safework (Safework Inc. 2000) oder TEMPUS (Kroemer et. al. 1988; Badler et. al. 1985) (Abb. 1). Zu diesen und anderen Modellen sind zusammenfassende Beschreibungen u.a. in Chaffin (2001), Gill (1998), Chaffin (2005) und Rößler, Lippmann (1999) zu finden.

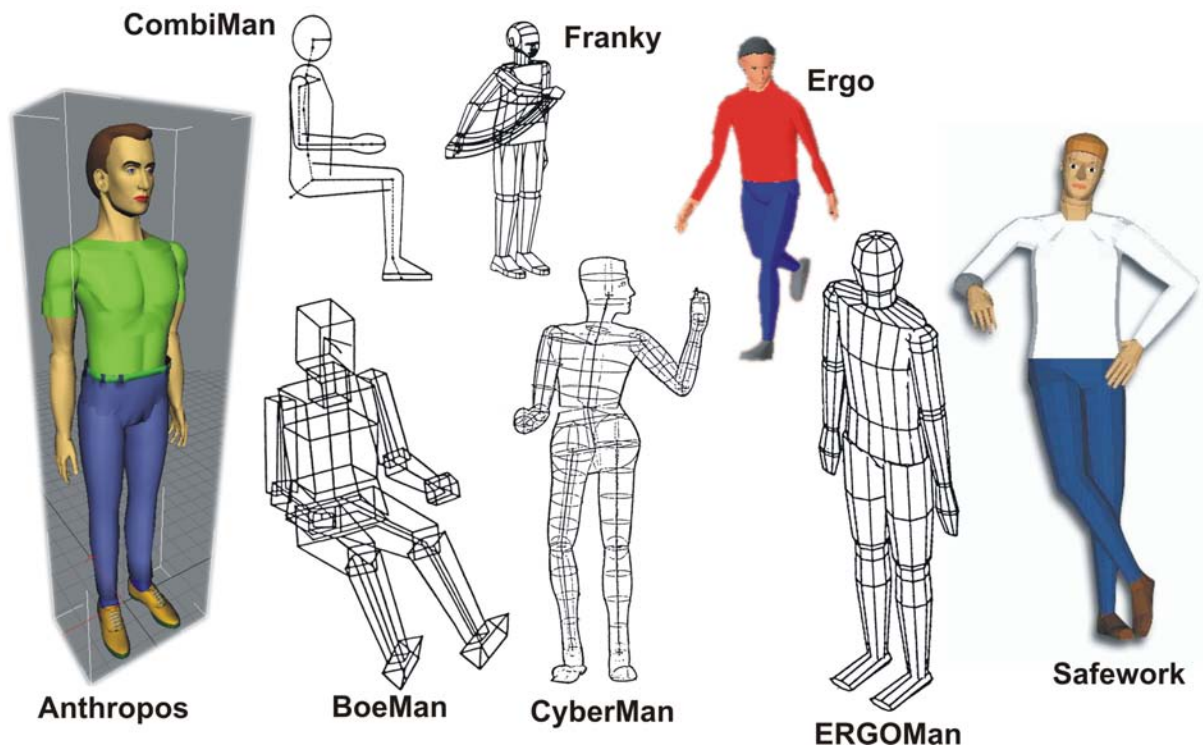


Abb. 1: Beispiele historischer Menschmodelle (Schaub, 1988; Donald, 1998; Delmia Solutions, 2001)

Die ersten Ansätze zur Entwicklung digitaler Menschmodelle bildeten sich in den fünfziger/sechziger Jahren als Digitalisierung von zweidimensionalen Anthropometrie-Schablonen. Schnell entdeckten die Entwickler das Potenzial einer rechnerunterstützten Lösung. In den ersten Jahren und Jahrzehnten entwickelten sehr viele Gruppen sowohl aus der Industrie als auch aus der universitären Forschung eigene Ansätze, da der Aufwand für die Realisierung eines solchen Modells vergleichsweise gering ausfiel. Die Konzepte reichten hierbei von der Abbildung eines Menschen als einfache Zusammensetzung polygonaler Grundkörper über die Modellierung aus vielen horizontalen Schichten bis hin zur Darstellung über eine Vielzahl von Kugeln.

Die weitere Entwicklung wurde meist durch konkrete Anforderungen aus industriellen Problemstellungen vorangetrieben. Da kostenintensive Arbeiten im Weltraum möglichst genau vorher simuliert werden mussten, wurden Modelle für diese Aufgaben entwickelt. Auch andere Extremsituationen in Flugzeugen oder Fragestellungen, die z.B. zu einer starken Kostenersparnis führen konnten, trieben die Entwicklungen voran. Später wurden vorhandene Modelle aus diesen Spezialanwendungen gelöst, erweitert und breiter gefächerten Anwendungsgebieten zugänglich gemacht. Dies geschah nicht zuletzt durch die Zunahme an Rechenleistung.

Im weiteren Verlauf – hauptsächlich in den 1980er Jahren – kristallisierten sich dann die Eigenschaften heutiger Menschmodelle heraus. Einige Speziallösungen wurden weiterhin gepflegt oder auch neu entwickelt, aber die eigentlichen Menschmodelle wurden immer vielseitiger und umfangreicher in ihren Funktionen. Dies führte dazu,

dass sich die Anzahl der Modelle verringerte, da der Aufwand zur Erstellung eines neuen Modells stark wuchs.

In den 1990er Jahren konsolidierte sich der Softwaremarkt weiter. Viele Firmen und damit auch die Modelle fusionierten oder wurden aufgekauft. Teilweise wurden bestimmte Funktionen von weiterentwickelten Modellen übernommen. Entwicklungen wurden aber auch ganz eingestellt, da der Aufwand zum Zusammenführen zweier Modelle meist sehr hoch ist.

### 3 Ergebnisse

Die Betrachtung historischer und aktueller digitaler Menschmodelle ergab eine Anzahl von über 70 Modellen. Durch ihren Funktionsumfang, durch die Zahl und die Bedeutung der Anwender sowie durch die zukünftig zu erwartende Entwicklung wurden die im Folgenden beschriebenen Modelle als bedeutend ausgewählt (Abb. 2). Eine charakterisierende Beschreibung wird in alphabetischer Reihenfolge vorgenommen.

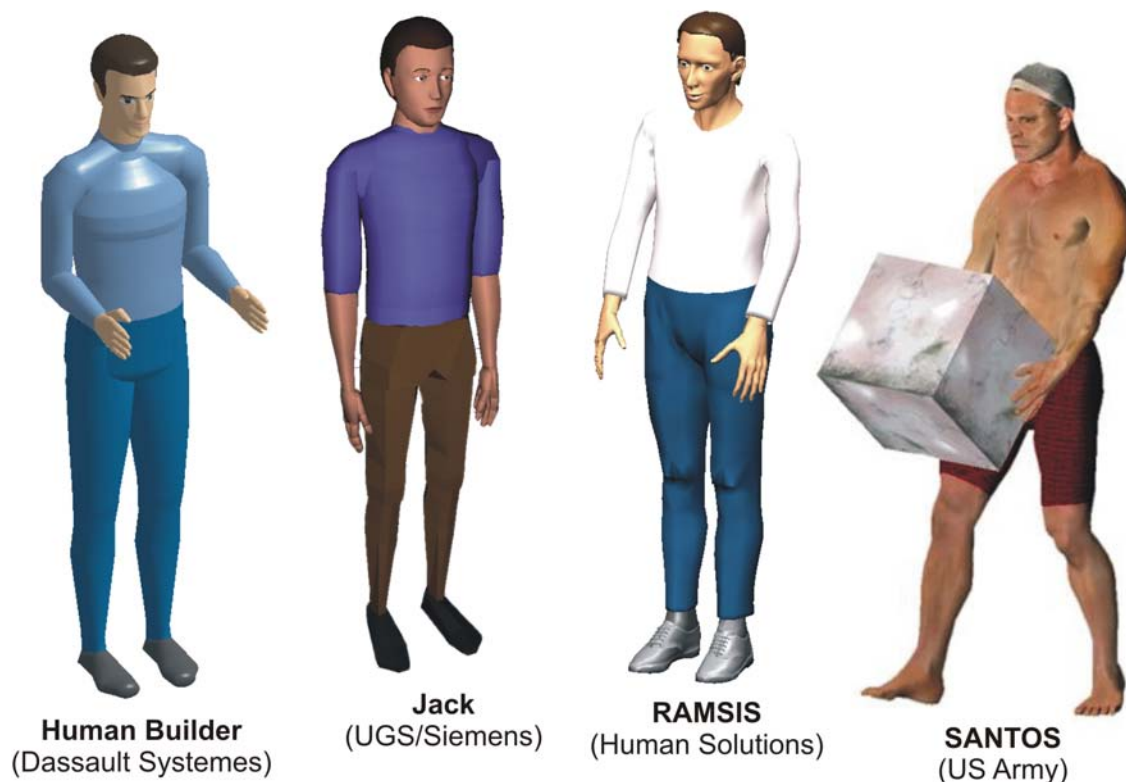


Abb. 2: wichtige gegenwärtige digitale Menschmodelle

#### Human Builder

Als Teil des Catia-V5-Paketes von Dassault Systemes ist Human Builder 2 (eine Weiterentwicklung des Safework-Modells) ein Werkzeug, mit dem die Interaktion zwischen Mensch und Maschine untersucht werden kann. Es ist ebenso in den Enovia- und Delmia-Produktfamilien verfügbar.

Das über 148 Freiheitsgrade und 99 Gelenke verfügende Modell kann auf Daten mehrerer Populationen zurückgreifen (Frankreich, Amerika, Kanada, Japan, Korea), jedoch ohne Berücksichtigung der Akzeleration. Dabei sind Hand, Wirbelsäule, Schulter und Hals detailliert modelliert. Neben der Positionierung des Modells über vordefinierte Haltungen, Gelenkwinkel oder inverse Kinematik werden auch die natürlichen Beschränkungen der Gelenkwinkel berücksichtigt. Weiterhin sind ergänzenden Zusatzpakete erhältlich. Das Werkzeug Human Activity Analysis erlaubt statische Haltungsanalysen, Heben/Tragen nach Niosh und Schieben/Ziehen nach Snook & Ciriello, Hand-Arm-Untersuchungen (RULA) sowie Bewegungs-, Ergonomie- und Handhabungsuntersuchungen. Human Posture Analysis ermöglicht die qualitative und quantitative Haltungsanalyse mit Einzelwerten für jedes Gelenk, wobei Komfort- und Diskomfort-Bereiche durch den Nutzer definiert werden. Die Analysefunktion erlaubt durch farbliche Hervorhebung eine optische Kontrolle der Haltung. Eine automatische Haltungsoptimierung komplettiert den Funktionsumfang. Human Task Simulation erlaubt Handlungsanalysen für Arbeitsprozesse zur Kontrolle ergonomischer, gesundheits- und sicherheitstechnischer Aspekte. So sind Treppensteigen, das Benutzen einer Leiter, Erstellung makroartiger Bewegungspfade und weitere Möglichkeiten des Einsatzes vorgesehen. Zeitanalysen sind durch eine Schnittstelle mit dem Programm Delmia Process Engineer und dem darin enthaltenen Industrial-Engineer-Modul möglich. Mit dem Human Measurements Editor lassen sich die Eingangsdaten für alle Einzelelemente des Mannequins definieren (IBM Software, 2006; Dassault Systemes, 2006; Safework Solutions, 2000).

## **Jack**

In dem PLM-System (Produktlebenszyklusmanagement) Tecnomatix (Siemens/UGS) war bisher das AnyMan-Modell implementiert (auch bezeichnet als eM-Human). Nachdem in den vergangenen Versionen zusätzlich das RAMSIS-Modell als Alternative verfügbar ist, wurde das AnyMan-System seit 2007 (ab Version 8.1) von dem Jack-Modell abgelöst. Tecnomatix wurde besonders für die Anwendung in der digitalen Fabrik entwickelt. Dabei können Arbeitssequenzen und -abläufe, der Arbeitsplatz, Taktzeiten und ergonomische Bedingungen analysiert werden. Bewegungsmakros, z.B. beim Greifen von Gegenständen, ermöglichen einen effizienten Einsatz.

Das Menschmodell Jack wurde Mitte der 80er Jahre von der Universität von Pennsylvania (Center for Human Modeling) in Zusammenarbeit mit der NASA und der Firma Transom Technologies Inc. entwickelt. Das anfangs Tempus genannte Modell gelangte später in den Besitz der UGS Corp. (heute Siemens). Es war bisher unter dem Namen Classic Jack als Einzelsoftware verfügbar; ebenso sind Anbindungen an die CAD-Lösung NX (NX Human) sowie die Software Teamcenter (VIS Jack) verfügbar. Ursprünglich diente es der Arbeitsplanung beim Zusammenbau der Raumstation ISS, unter anderem bei der Sichtplanung in einem Raumanzug. Mittlerweile wird es für viele andere Anwendungen genutzt.



Die Grunddaten des biometrisch akkuraten Menschmodells entstammen der anthropometrischen Datenbank Ansur. Eine bewegliche Wirbelsäule und Gelenke erlauben vielseitige Anwendungen. Das weibliche Gegenstück zum Modell Jack wird als Jill bezeichnet. Beide sind in einzelnen Anthropometriewerten veränderbar, was im Modell dynamisch angepasst wird. Das Modell verfügt über 68 Gelenke und 135 Freiheitsgrade, wobei natürliche Gelenkbegrenzungen implementiert sind. Eine Reihe von Analysefunktionen ist in das Menschmodell bereits integriert (Kraftanalysen, Heben-/Tragen, Gefahrenanalysen usw.). Im- und Exportfunktionen ermöglichen den Austausch mit anderen Anwendungen.

Neben dem ursprünglichen Classic Jack gibt es weitere Ausbaustufen: den Vis Jack (für die Arbeit mit VisMockup, einer Digital-Mockup-Lösung von UGS), ein Task Analysis Toolkit zur ergonomischen Arbeitsgestaltung, das Occupant Packaging Toolkit zur weitergehenden Ergonomieuntersuchung und ein Motion Capture Toolkit zur Aufnahme realer Bewegungsdaten (UGS Tecnomatix, 2005; UGS Produkte & Lösungen, 2006).

Die mit Tecnomatix meist mit allen Menschmodellen (AnyMan, Jack, RAMSIS) durchführbaren Analysen sind Taktzeit- und Ergonomieuntersuchungen (Anheben, Körperhaltung, Energieeinsatz), Erreichbarkeitsanalysen, Zeitanalysen nach MTM, Sichtbarkeitsauswertungen, Kollisionsanalysen, Heben/Tragen (Niosh 81/91) und Hand-Arm-Belastungen (UGS Tecnomatix, 2006a; UGS Tecnomatix 2006b).

## **RAMSIS**

Das Menschmodell mit dem Akronym RAMSIS (Rechnergestütztes Anthropologisch-Mathematisches System zur Insassen-Simulation) wurde vom Lehrstuhl für Ergonomie an der TU München, von der Katholischen Universität Eichstätt, der Forschungsvereinigung Automobiltechnik und der Firma techmath entwickelt. Das besonders an die Erfordernisse der Automobilindustrie angepasste Menschmodell ist als Einzelanwendung sowie als Integration für CAX-Anwendungen (Catia, Tecnomatix usw.) verfügbar und wird von einem Großteil der Automobilhersteller in der Entwicklung genutzt. Das Hauptaugenmerk des Programms liegt bei ergonomischen Untersuchungen von Cockpits der Fahrzeug-, Flugzeug- und Baumaschinenindustrie, wofür die Pakete RAMSIS Automotive, Aircraft und Industrial Vehicles verfügbar sind.

Das auf einer Datenbank mit vielen Populationen unterschiedlichen Alters, Differenzierung nach Perzentilen, Somatotypen und Einbeziehung der Akzeleration basierende Modell besitzt 53 Gelenke mit 104 Freiheitsgraden. Nach der Positionierung des Mannequins können verschiedene ergonomische Analysefunktionen genutzt werden. Untersuchungen des Komfortempfindens, Haltungs- und Sichtanalysen sowie Erreichbarkeits-Betrachtungen sind durchführbar. Ebenso können Maximalkräfte untersucht und Gurtverläufe begutachtet werden. Neben der auf anthropometrischen Datenbanken basierenden Mannequin-Generierung können ebenfalls Daten aus dem

3D Bodyscanner von Human Solutions importiert werden (Anthroscan). Mit Hilfe der Module RAMSIS Global Concepts, Seat Belt Design, Ergonomic Expert und Standards & Regulations stehen Pakete für spezielle Anwendungen zur Verfügung. Eine Schnittstelle zur Software Virtual Design 2 erlaubt die Durchführung von Anwendungen in Virtual-Reality-Umgebungen (Ramsis Automotive Industry, 2005; Human Solutions Fahrzeugindustrie, 2004).

## **Santos**

Das bisher nicht als kommerzielle Software veröffentlichte Menschmodell Santos entstammt dem Virtual Soldier Research Program der Universität von Iowa (Zentrum für CAD). Hauptziel bei der Entwicklung ist die Simulation eines Soldaten zur Evaluierung von Systemen, Komponenten und Produkten.

Als eines der weiter entwickelten Modelle zeigt es auch für kommerzielle Anwendungen einige interessante Eigenschaften auf und belegt die Machbarkeit bestimmter Funktionalitäten. Die akkurate Biomechanik des Modells beinhaltet eine Abbildung der Physiologie, präzise Modelle der Muskeln inkl. Kontraktionen, deformierbare Haut und die Simulation von Vitalwerten (Herzschlag, Blutdruck, Metabolismus). Damit können Werte wie Ermüdung, Diskomfort, Kraftaufwand oder Stärke überprüft werden. Sichtsimulationen, Ergonomie- und Bewegungsanalysen sowie Dynamiksimulationen von Kräften, Momenten und Lastenhandhabung sind ebenfalls möglich. Weiterhin ist ein Modell für Kleidungssimulation implementiert, mit dem Thermodynamik und Bewegungssimulationen untersucht werden können. So ist es z.B. möglich, die Leistungsfähigkeit bei der Benutzung von Schutzkleidung zu simulieren. Ein Modul für künstliche Intelligenz generiert Daten der willensmäßigen Wahrnehmung, Interaktion und Simulation von Gruppen. Eine Kollisionsdetektion in Verbindung mit einer Objekterkennung erlaubt mittels des Verhaltensmodells eine intelligente Handhabung und einen natürlichen Umgang mit CAD-Objekten.

Das System ist durchgehend echtzeitfähig, sodass sich Änderungen unmittelbar auswirken. Modellierung, Simulation, Bewegung und Interaktion laufen somit ohne Verzögerung ab und werden durch vielfältige Eingabewerkzeuge sowie einen Klang-erzeuger unterstützt. Dies ermöglicht interaktive Virtual-Reality-Anwendungen, die durch die detaillierte Modellierung und Verwendung hochauflösender Texturen ergänzt wird (University Of Iowa, 2004; University of Iowa, 2006).

Tabelle 1: zusammenfassender Überblick der wichtigen digitalen Menschmodelle

Modell	Human Builder	Jack	RAMSIS	Santos
<b>Hersteller / Vertrieb</b>	Dassault Systems, IBM Corp.	Siemens/ Unigraphics Solutions (UGS)	Human Solutions GmbH	Universität von Iowa
<b>Modell-ebenen</b>	Skelett, Haut	Skelett, Haut	Skelett, Haut	Skelett, Muskeln, Haut, Kleidung, Vitalwerte
<b>Modell-eigenschaften</b>	5 Populationen, Geschlecht, Alter, 99 Perzentile, Anpassung Anthropometrie-werte	Geschlecht, 5 Perzentile (Gewicht/Größe), Anpassung Anthropometriewerte	10 Populationen, Geschlecht, Alter, Perzentile, Proportion, Akzeleration, Anpassung Anthropometrie-werte	
<b>Funktionen / Analysen</b>	Sichtbarkeit, Erreichbarkeit, Lastenhandhabung, Haltung, Biomechanik etc.	Sichtbarkeit, Erreichbarkeit, Lastenhandhabung, Ermüdungs-/ Erholungs-zeitanalyse, Arbeitsumsatz, Zeitanalysen, Komfortbewertung etc.	Sichtbarkeit, Erreichbarkeit, Gelenkwinkeldiskomfort, Kräfte, Gurtverlauf etc.	Sichtbarkeit, Erreichbarkeit, Lastenhandhabung, Kleidungs-simulation, künstliche Intelligenz, Dynamik-simulation etc.
<b>(CAD-) Plattform</b>	Catia, Enovia, Delmia; Windows, Unix (AIX, UX, IRIX, Solaris)	Einzelanwendung, Tecnomatix; Windows, Irix (SGI)	Einzelanwendung, Catia, Tecnomatix; Windows, Unix (SGI, HP, SUN, IBM)	Einzelanwendung

## Weitere Modelle

Neben den eben dargestellten Modellen existieren einige weitere (Abb. 3), die grundsätzlich dem Charakter der beschriebenen Modelle ähneln, aber einen eingeschränkten Funktionsumfang besitzen (z.B. 3DSSPP, Boeing Human Modeling System / B-HMS, Human CAD, MTMergonomics, SAMMIE).

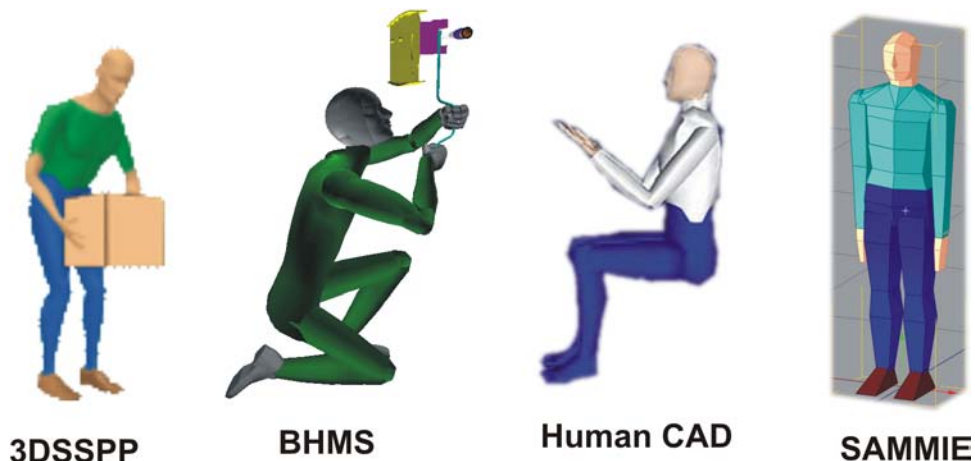


Abb. 3: weitere digitale Menschmodelle mit weniger großem Funktionsumfang (Biferno, 2007; NexGen Ergonomics, 2007)

Weitere Menschmodelle konzentrieren sich auf spezielle Anwendungsgebiete (Abb. 4). Da einige Probleme wie die Simulation des Kontaktes Mensch-Sitz oder Schwingungsanalysen nur mit dynamischen Modellen analysierbar sind, verwenden einige Menschmodelle (Casimir, DYNAMICUS) Mehrkörpersysteme. Hier wird teilweise versucht, Schnittstellen zu anderen Modellen zu schaffen, um deren anthropometrische Datenbasis nutzen zu können. Andere Systeme (THUMS) sind als Finite-Elemente-Modelle aufgebaut, um besonders bei Crash-Simulationen die Auswirkungen auf den Menschen simulieren zu können. Eine weitere Gruppe (DI-Guy, Digital Biomechanics, Poser) setzt den Fokus auf realistische Animation und echtes Bewegungsverhalten, teilweise auch mit Mehr-Personen-Interaktion. Dies dient teilweise militärischen Trainingsanwendungen oder Szenarien, bei denen eine gewisse Anzahl von selbstständig agierenden Modellen nötig ist, teilweise aber auch der rein grafischen Menschdarstellung. Ebenso grafisch orientiert sind spezielle VR-Lösungen (VADE), die zunehmend aber auch von den prioritären Modellen (Jack, RAMSIS) abgedeckt werden. Eine letzte Gruppe (AnyBody, SIMM) modelliert Knochen, Sehnen und Bänder sehr detailliert. Dadurch lassen sich umfangreiche Analysen der Muskelkräfte z.B. für Anwendungen im Sport-, Physiotherapie- oder Medizinbereich realisieren. Ein fehlendes Element sind hier wiederum die anthropometrischen Datenbank-Grundlagen. Hier wird ebenso die Anbindung an prioritäre Menschmodelle versucht, wie z.B. von AnyBody an RAMSIS.

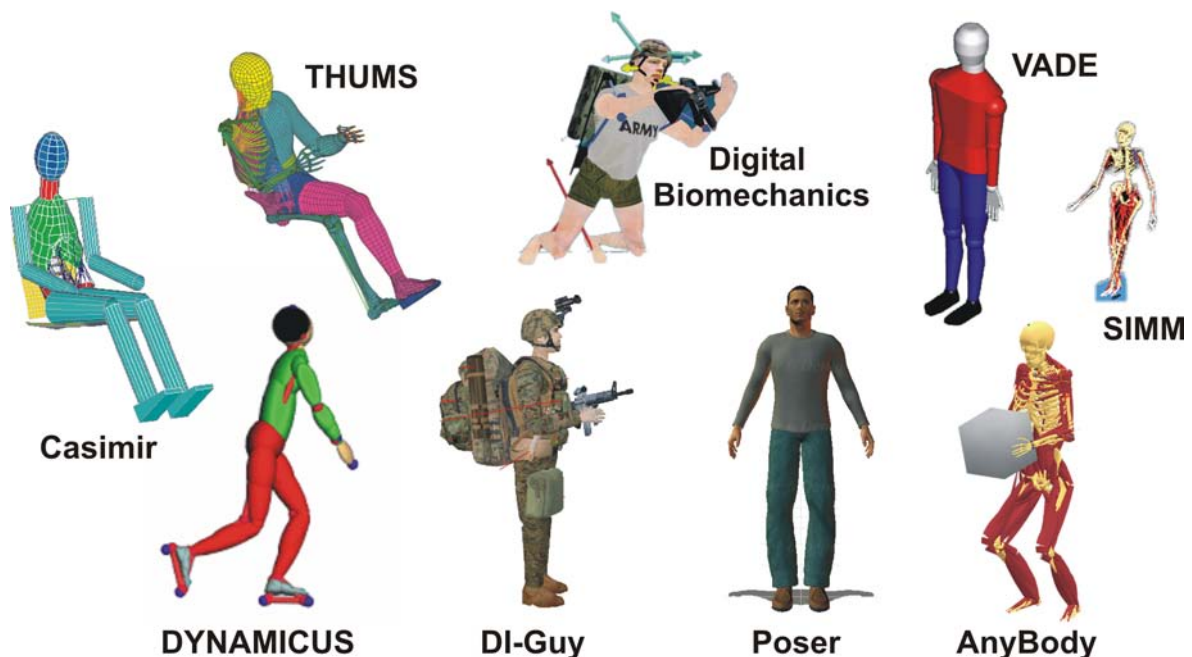


Abb. 4: weitere Menschmodelle mit speziellem Anwendungsfokus (Block, 2007; Institut für Mechatronik e.V., 2007; Potel, 2002; Boston Dynamics, 2005a; Boston Dynamics, 2005b; VRCIM, 1999; Jernes, 2007; Musculographics, 2007)

Durch diese Speziallösungen sind weitere Anwendungsgebiete für digitale Menschmodelle erschlossen worden. Eine Integration oder Zusammenführung mit den prioritären Menschmodellen ist zukünftig wünschenswert, um die erweiterten Funktionalitäten für eine breitere Anwendungsgruppe verfügbar zu machen.

## **4 Diskussion**

Die wirtschaftlich bedeutenden digitalen Menschmodelle haben vielfach gemeinsame Eigenschaften und Funktionen. Aufgebaut aus einem Skelettmodell und einer Hüllfläche, die Haut bzw. Kleidung darstellt, sind die Modelle durch Vorwärtskinematik, inverse Kinematik oder Zugriff auf eine Haltungs-Datenbank positionierbar. Dabei sind entweder ausreichende Im-/Export-Schnittstellen zum Austausch von CAD-Daten vorhanden oder das Menschmodell ist als Plug-In oder Teil einer Software implementiert und kann so mit den CAD-Daten der Konstrukteure und Planer zusammenarbeiten. Die Zeitkomponente ist in den Modellen unterschiedlich berücksichtigt. Teilweise als Prozessmodell in einer fabriknahen Lösung verarbeitet, sind auch andere Ansätze gewählt worden, die Ähnlichkeit mit 3D-Programmen haben. Andere Eingaben (Perzentil, Akzeleration, ...) werden über diverse Eingabemasken realisiert.

Die Menschmodelle kommen durch ihre Funktionalitäten in vielen Bereichen zur Anwendung. Neben den klassischen Anwendungsgebieten in Konstruktion und Fertigungsplanung werden sie auch bei der Arbeitsgestaltung, militärischen Simulationen oder Trainingsszenarien eingesetzt. Dabei ist der Fokus entweder auf der Prozess- oder der Produktgestaltung. Die wichtigsten Industriezweige, die digitale Menschmodelle einsetzen, sind die Automobilindustrie, das Militär, Luft- und Raumfahrt sowie Forschungseinrichtungen. Aber auch in der Spezialfahrzeugindustrie, der Unterhaltungselektronik, im Schiffbau oder der Architektur werden sie zunehmend genutzt. Die digitalen Menschmodelle sind demnach vielseitig anwendbar, da die Funktionen allgemein ausgelegt und anwendbar sind.

Die wichtigsten Funktionen, die bei der Produktgestaltung genutzt werden, sind Sicht- und Erreichbarkeitsanalysen. Alle Menschmodelle besitzen dafür Funktionen, einige sehr umfangreiche verschiedene Simulationsarten. Andere Analysemöglichkeiten wie z.B. Haltungsanalysen werden in geringerem Umfang ebenfalls genutzt.

Bei der Prozessgestaltung, die sich oft mit der Planung von Arbeitsplätzen auseinandersetzt, werden die Menschmodelle versatiler genutzt. Neben Sicht- und Erreichbarkeitsanalysen sind Prozesssimulationen, Ergonomie-Analysen oder Analysen zur Lastenhandhabung wichtige Bestandteile der Gestaltung.

Sowohl für die Produkt- als auch für die Prozessgestaltung ist die Visualisierung eines Sachverhaltes das trivialste, aber auch ein sehr wirkungsvolles Ergebnis. Ein Bild oder eine Animation eines Menschmodells, das mit der Umgebung interagiert, ist eine äußerst effektive Methode, um Probleme zu erkennen oder sichtbar zu machen.

Neben den Hauptfunktionen werden mitunter bestimmte Spezialfunktionen als Zusatzpaket angeboten, z.B. zu bestimmten Analysen im Automobil, zur Anwendung in VR-Labors oder für individuelle Anpassungen der Anthropometriewerte.

Die Softwareergonomie der Menschmodelle selbst, also ihrer Ein- und Ausgabemöglichkeit, ist sehr unterschiedlich. Teilweise werden bekannte und bewährte Konzepte aus anderen Softwarebereichen übernommen (z.B. beim Bewegen und Drehen der Modelle), teilweise kommen aber auch proprietäre Lösungen zur Anwendung, die u.U. eines nicht unerheblichen Einarbeitungsaufwandes bedürfen oder auch bei häufiger Anwendung nur zeitaufwendig bedienbar sind.

Der Datenaustausch der jeweiligen Programme mit anderen ist nur bedingt möglich. Zwar bieten diese meist Schnittstellen in bekannten Standard-Formaten an (dxf, stl, iges usw.), aber selbst wenn der Im- oder Export gelingt, gehen durch die Aktion meist wichtige Daten (Farben, Größen, ...) oder gar Funktionalitäten verloren (Bewegungen, Kamerapositionen o.ä.). Als Plattform nutzen alle wichtigen Anbieter Windows, einige bieten auch Versionen für Unix und spezielle VR-Umgebungen an.

## **5 Schlussfolgerungen**

Bei der Produkt- und Prozessgestaltung gibt es viele Anwendungsbereiche, die den Einsatz eines Menschmodells rechtfertigen und die Anwendung finanziell, konstruktiv und ideell verbessern. Die Simulation extremer Perzentile oder anderer Kulturkreise wäre ohne diese Modelle nur mit viel Aufwand durchführbar. Ergonomische Analysen zu Greifräumen, Arbeitsplatzgestaltungen oder Kräften sind mittels der Systeme bereits virtuell durchführbar, ohne dass ein Prototyp gebaut oder eine Realanalyse durchgeführt werden müsste. Szenario-Vergleichsanalysen und die guten Visualisierungsmöglichkeiten der Modelle erleichtern sowohl dem direkten Anwender als auch bei der Präsentation vor verschiedenen anderen Gruppen die Arbeit (vgl. Chaffin, 2001; Chaffin, 2005).

Verbesserungswünsche aus der Praxis betreffen u.a. die Eingabemöglichkeiten. Es ist mitunter recht aufwendig, Haltungen oder Bewegungen zu erzeugen. Ebenso sind Verbesserungen der Analysemodule gefordert. Für verschiedene Haltungen, aber besonders für Bewegungen und Analysen mit Beachtung der Zeitkomponente fehlen aber die wissenschaftlichen Modelle, die für eine Implementierung nötig wären, bzw. die vorhandenen Modelle wurden bislang nicht eingearbeitet. Auch bei der Bewertung der Analysen werden Unterstützungen gefordert, um bestimmte kritische Situationen, Haltungen, Aufgaben usw. klarer und schneller herausfiltern zu können und ebenso die Elemente aufgezeigt zu bekommen, durch die eine Verbesserung der Situation erreicht werden würde (vgl. Chaffin, 2001; Chaffin, 2005).

Weitere Forschungen an der TU Chemnitz werden sich mit der Effektivität der Systeme im Einsatz und der Akzeptanz bei den Nutzern auseinandersetzen. Darauf aufbauend sollen die Modelle weiterentwickelt werden.

## Literatur

**Badler, Norman I.; Korein, Jonathan D.; Korein, James U.; Radack, Gerald M.; Brotman, Lynne Shapiro:** Positioning and Animating Human Figures in a Task-oriented environment. The Visual Computer, Vol. I, pp. 212-220, Springer-Verlag, 1985

**Biferno, Michael A.:** Boeing Human Modeling System. Zugriff 01.08.2007, [www.boeing.com/assocproducts/hms/](http://www.boeing.com/assocproducts/hms/), 2007

**Block, C.:** Numerisches Schwingungsdummy CASIMIR. Zugriff 01.08.2007, [www.tu-darmstadt.de/fb/mb/fmd/casimir.html](http://www.tu-darmstadt.de/fb/mb/fmd/casimir.html), 2007

**Boeing:** Human Modeling System. Zugriff 14.12.2006, [www.boeing.com/assocproducts/hms/](http://www.boeing.com/assocproducts/hms/), 2002

**Boston Dynamics:** DI-Guy. Zugriff 01.08.2007, [www.bostondynamics.com/content/sec.php?section=diguy](http://www.bostondynamics.com/content/sec.php?section=diguy), 2005a

**Boston Dynamics:** Digital Biodynamics. Zugriff 01.08.2007, [www.bostondynamics.com/content/sec.php?section=digibio](http://www.bostondynamics.com/content/sec.php?section=digibio), 2005b

**Chaffin, D.:** Digital Human Modeling for Vehicle and Workplace Design. Society of Automotive Engineers Inc., Warrendale, 2001

**Chaffin, D.B.:** Improving digital human modelling for proactive ergonomics in design. Ergonomics, Vol. 48, Taylor & Francis, 2005

**Dassault Systemes:** Products & Solutions. Zugriff 14.12.2006, [www.3ds.com](http://www.3ds.com), 2006

**Delmia Solutions:** Safework Pro. 2001

**Donald, Deidra L.:** A Tutorial on Ergonomic and Process Modeling using QUEST and IGRIP. Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference, 1998

**Gill, S. A.; Ruddle, R. A.:** Using virtual humans to solve real ergonomic design problems. Proceedings of the 1998 International Conference on Simulation, IEEE Conference Publication, 457, pp. 223-229, 1998

**Human Solutions Fahrzeugindustrie:** RAMSIS – Bewegung beginnt im Inneren. Zugriff 14.12.2006, [www.human-solutions.com/automotive\\_industry/ramsis\\_de.php](http://www.human-solutions.com/automotive_industry/ramsis_de.php), 2004

**IBM Software:** Human Builder 2 (HBR). Zugriff 14.12.2006, [www-306.ibm.com/software/applications/plm/catiav5/prods/hbr/](http://www-306.ibm.com/software/applications/plm/catiav5/prods/hbr/), 2006

**Institut für Mechatronik e.V., Chemnitz:** DYNAMICUS. Zugriff 01.08.2007, [www.tu-chemnitz.de/ifm/html\\_alaska/vorlagen/dynamicus.html](http://www.tu-chemnitz.de/ifm/html_alaska/vorlagen/dynamicus.html), 2007

**Jernes, Niels:** AnyBody Technology. Zugriff 01.08.2007, [www.anybodytech.com/](http://www.anybodytech.com/), 2007

**Kingsley, E.C.; Schofield, N.A.; Case, K.:** SAMMIE – A Computer Aid for Man Machine Modelling. Computer Graphics, vol. 15, Nr. 3, pp. 163-169, 1981

**Kroemer, Karl H.E.; Snook, Stover H.; Meadows, Susan K.;** Deutsch, Stanley: Ergonomic Models of Anthropometry, Human Biomechanics, and Operator-Equipment Interfaces. National Academy Press, Washington, 1988

**Marshall, R.; Porter, J.M.; Case, K.; Sims, R.; Gyi, D.E.:** Virtual fitting Trails using SAMMIE and HADRIAN. Virtual Engineering Applications for Rapid Product Development, EVEN Workshop held at Solid Modelling Birmingham, UK, 2003

**McDaniel, J.W.:** Models for ergonomic analysis and design: COMBIMAN and CREWCHIEF. Computer-Aided Ergonomics; Eds. W. Karwowski, A.M. Genaidy, and S.S. Asfour, pp. 138-156, Taylor & Francis, New York, 1990

**MusculoGraphics, Inc.:** SIMM Software Suite. Zugriff 01.08.2007, [www.musculographics.com/products/products.html](http://www.musculographics.com/products/products.html), 2007

**Nayar, Narinder:** Deneb/ERGO – A Simulation Based Human Factors Tool. Proceedings of the 1995 Winter Simulation Conference, 1995

**NexGen Ergonomics Inc.:** HumanCAD. Zugriff 01.08.2007, [www.nexgenergo.com/ergonomics/humancad.html](http://www.nexgenergo.com/ergonomics/humancad.html), 2007

**Potel, Michael J.:** Biomechanics and the Cyberhuman. IEEE Computer Graphics and Applications, S. 14-20, Nov./Dec., 2002

**RAMSIS Automotive Industry:** RAMSIS Community for Users. Zugriff 14.12.2006, [www.ramsis.de](http://www.ramsis.de), 2005

**Rößler, Andreas; Lippmann, Roland:** Virtuelle Menschmodelle in der Produktentwicklung. Spektrum der Wissenschaft, 09, 1999

**Ryan, P.W.; Springer, W.E.:** Cockpit Geometry Evaluation Final Report. Vol. V, JANAI Report 69105, Office of Naval Research, Washington, D.C., 1969

**Safework Inc.:** Human Modeling Technology. Zugriff 14.12.2006, [www.safework.com](http://www.safework.com), 2000

**Safework Solutions:** Human Builder. Zugriff 14.12.2006, [www.safework.com/catia\\_sw/products.html](http://www.safework.com/catia_sw/products.html), 2000

**SAMMIE CAD Limited:** SAMMIE CAD. Zugriff 14.12.2006, [www.sammiecad.com](http://www.sammiecad.com), 2004

**Schaub, K.:** Entwicklung eines modularen, rechnergestützten, dreidimensionalen man models mit interaktiver Anpassung an die Arbeitsgestaltungsaufgabe. Schriftenreihe Fortschrittsbericht Nr. 51, VDI-Reihe 17: Biotechnik, Düsseldorf, VDI-Verlag, 1988



**Seidl, Andreas:** Das Menschmodell RAMSIS. Analyse, Synthese und Simulation dreidimensionaler Körperhaltungen des Menschen. Dissertation, Lehrstuhl für Ergonomie, TU München, 1994

**UGS Produkte und Lösungen:** Jack. Zugriff 14.12.2006, [www.ugsplm.de/produkte/tecnomatix/human\\_performance/jack/index.shtml](http://www.ugsplm.de/produkte/tecnomatix/human_performance/jack/index.shtml), 2006

**UGS Tecnomatix:** eM-Human. Zugriff 14.12.2006, [www.ugsplm.de/produkte/tecnomatix/human\\_performance/em\\_human.shtml](http://www.ugsplm.de/produkte/tecnomatix/human_performance/em_human.shtml), 2006a

**UGS Tecnomatix:** Human Performance. Zugriff 14.12.2006, [www.ugs.com/products/tecnomatix/human\\_performance](http://www.ugs.com/products/tecnomatix/human_performance), 2006b

**UGS Tecnomatix:** Jack. Zugriff 14.12.2006, [www.ugs.com/products/tecnomatix/human\\_performance/jack/](http://www.ugs.com/products/tecnomatix/human_performance/jack/), 2005

**University of Iowa:** Santos Digital Human Modeling Environment. Virtual Soldier Research, Zugriff 14.12.2006, [santos.digital-humans.org](http://santos.digital-humans.org), 2004

**University of Iowa:** Virtual Soldier Research. Zugriff 14.12.2006, [www.digital-humans.org](http://www.digital-humans.org), 2006

**VRCIM, Washington State University:** Virtual Assembly and Design Environment (VADE). Zugriff 01.08.2007, <http://www.vrcim.wsu.edu/immersive-environments/index.html>, 1999

## Abbildungen

Abb. 1: Beispiele historischer Menschmodelle

Abb. 2: wichtige gegenwärtige digitale Menschmodelle

Abb. 3: weitere digitale Menschmodelle mit weniger großem Funktionsumfang

Abb. 4: weitere Menschmodelle mit speziellem Anwendungsfokus

Fig. 1: examples of ancient man models

Fig. 2: important present digital human models

Fig. 3: other digital human models with less extensive functions

Fig. 4: other digital human models with special uses

Fig. 1 : exemples des modèles antiques

Fig. 2 : modèles humains numériques actuels importants

Fig. 3 : d'autres modèles humains numériques avec des fonctions moins étendues

Fig. 4 : d'autres modèles humains numériques avec des utilisations spéciales

## Tabellen

Tabelle 1: zusammenfassender Überblick der wichtigen digitalen Menschmodelle

table 1: overview of the important digital human models

Tableau 1: synthèse de l'importance des modèles numériques de l'homme